

文章编号: 1001— 1749(2010)05— 0495— 05

深部金属矿勘查中常用物探方法与应用效果

袁桂琴, 李 飞, 郑红闪, 丁志强

(中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘 要: 随着我国国民经济的高速发展, 矿产资源需求与保障能力之间的矛盾日益突出, 金属矿勘查已成为当前地质工作的重要任务。随着找矿深度的增加, 找矿难度也随之加大, 这就为物探方法技术提供了发展空间。这里列举了当前深部金属矿勘查中常用的物探有效方法, 以及近年来研发的新方法、新技术, 以期在深部金属矿勘查中充分发挥物探技术的优势, 最大限度获取地下各种金属矿指示信息, 为找矿工作提供依据。

关键词: 深部金属矿勘查; 物探方法技术; 应用效果

中图分类号: P 631.3⁺25 **文献标识码:** A

0 前言

进入二十一世纪, 我国经济建设对资源需求量迅速增加, 矿产资源保障能力与资源需求的矛盾日益突出, 这就为地质找矿工作提出了更高的要求。金属矿勘查重点是在“第二找矿空间”, 即在五百米以下深度, 或在已知矿山深部或外围找矿。在这种形势下, 勘查技术面临严峻挑战, 同时也必然带动新一轮技术的创新与发展。物探技术作为极具深部找矿潜力的技术手段, 在深部金属矿勘查中将发挥越来越重要的作用。

1 方法技术

物探方法包括重力、磁法、电法、地震、放射性和地温等六大类。在我国的金属矿勘查中, 重力、磁法、电法应用较广泛, 地震用于金属矿勘查, 尚处于试验研究阶段。

1.1 重力

重力勘探除直接用于寻找密度大的矿产资源, 以及与高密度基岩和超基性岩伴生的矿产资源外, 还可配合其它物探方法, 查明断层、基岩起伏、隐伏

岩体等。九十年代, 在我国油气勘探领域率先提出了高精度重力勘探的概念, 并迅速展开了大量的勘探工作。当今观测精度最高的重力仪, 其读数分辨率已达到 $0.001 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 重复观测精度小于 $0.005 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

1.2 磁法

磁法在物探方法中理论上相对完备, 找矿效果也比较突出。很多金属矿与岩浆岩或岩浆活动伴随的热液活动带有关, 或与基性超基性岩有关, 或与矽卡岩及其接触带有关。磁法可用于寻找具备磁测前提的矿床、地层、控矿构造、有关蚀变岩石等。高精度磁测, 应用范围较广, 工作精度小于且等于 5 nT, 分辨率为 0.1 nT, 以测地磁场总量异常 (ΔT) 为主, 能作绝对测量。

航遥中心研制的新一代航空氦光泵磁力仪 (HC—2000 型), 灵敏度达到 0.002 5 nT, 比五十年代使用的进口仪器的灵敏度提高了上万倍。该仪器在地质调查和深部找矿中发挥了重要作用, 例如根据航磁资料, 大冶铁矿在深部和外围取得了重要的找矿成果。

井中三分量磁测尚未全面推广应用, 但它可以发现远离钻井的强磁性矿床, 发现井旁与磁黄铁矿、磁铁矿物有共生关系的磁性较弱的矿体, 该方

法应成为矿山深部找矿中的有效手段。

1.3 电法

八十年代以来,金属矿勘查中激发极化法(IP)、瞬变电磁法(TEM)、可控源音频大地电磁法(CSAMT)等应用广泛,取得了大量的找矿效果。随着找矿深度的增加,这些物探技术继续发挥着重要作用。

TEM法是电磁感应法的一个变种,近年在寻找深部隐伏矿方面,TEM是找矿效果最好的方法之一。其中,内置线圈探测水平层状或似层状导体比水平线圈要好,而对于垂直或近垂直导体而言,水平线圈效果更佳。TEM法比常用的大地电磁测深(MT)具有更高的分辨能力,更高的生产效率和更强的抗干扰能力,特别适合面积性区域普查和详查。在圈定断裂、破碎带、蚀变带、接触带、地下电性分层等方面,均能提供较可靠的信息,尤其对陡立的地质构造分辨程度高。加拿大Geonics公司生产的瞬变电磁仪,最大的勘探深度可以达到1500m~2000m。井中TEM由于更接近深部隐伏矿体,可降低上覆盖层的影响,在钻孔周边200m~300m半径范围内具有较好的分辨能力,能最大限度地发现深部隐伏矿体。

近年来,频率域电磁法理论技术和仪器设备有了很大的发展。可控源法(CSAMT)是八十年代兴起的基于MT和音频大地电磁法(AMT)发展起来的一种主动源电磁勘探技术,是研究深部地质构造和探寻深部矿的有效勘查手段,其勘探深度可达2km以上。

IP法在过去近半个世纪,为我国找矿事业做出了巨大贡献。近年来在寻找深部金属矿勘查中,激电方法仍是最常用的方法之一,成为寻找浸染型金属硫化物矿产有效、快速的手段。频谱激电(SIP)是在超低频段作多频视电阻率测量,通过研究复电阻率的谱特性,解决地质问题。

1.4 地震

基于反射技术的2D、3D、VSP方法以及地震散射法和地震层析成像法等,是金属矿地震的发展方向。研发金属矿地震技术(硬岩地震)和装备,以查明矿区深部控矿构造,圈定岩体,甚至直接寻找深部隐伏矿体。反射波、散射波,以及多波二维、三维高分辨,抗干扰地震数据采集,处理和反演成像技术,勘探深度大于2000m。我国在二十世纪八十年代以后用于金属矿勘查试验研究,积累了不

少有益的经验。1994年在金厂峪金矿区隐伏地质结构的研究中,在重力、磁法、电法等方法都不理想的情况下,应用浅层地震有效地指导了深部找矿。

2 应用实例与应用效果

2.1 磁法、CSAMT、SP、井中物探在安徽铜山铜矿深部找矿中的应用

铜山铜矿始建于1959年,主产铜精矿。在2000年后矿山面临资源日益枯竭的窘境,2003年矿山转入残矿回收。铜山铜矿原勘查最大深度不超过-500m。在2005年列入第一批全国危机矿山找矿项目后,对以往矿区资料重新研究,形成新的找矿思路。在高精度磁测基础上,利用频谱激电(SIP),对前山南矿区已知矿和预测矿体深部进行了探测和定位,再利用井中物探追踪,发现了新的矿体。在南泉鲍地区,通过磁测圈定四个磁异常,与岩体对应较好。CSAMT测量初步查明区内地层、构造的空间展布,在其二维反演电阻率断面上,从上到下分别为高阻、低阻、次高阻,推测深部存在闪长岩体,埋深约-1000m。钻探验证矿体赋存标高-400m~-800m,主要矿石类型为含铜磁铁矿,取得了找矿实质性突破。

2.2 TEM在贵州银厂坡银铅锌矿床深部找矿中的应用

银厂坡浅部为一中型独立银矿床,鉴于其浅表氧化矿体开采殆尽,在2000年大调查及民营资金支持下,对银厂坡中深部原生矿体进行定位定量综合找矿预测。由于区内铅锌矿石 $\rho_s < 100 \Omega \cdot m$, $\eta_s > 30\%$,其余各种岩石 ρ_s 都比硫化铅锌矿石高出十倍以上,具有较好的电性前提,因此选用了对探测低阻体较灵敏的瞬变电磁法(TEM)。

测量结果在预测部位发现了产状、规模与预测一致的TEM异常(如下页图1所示),结合原生晕测量结果,推测出Ⅰ号异常为矿致异常,估算金属量可达 $50 \times 10^4 t$ 以上。坑道施工于1710m进入含矿层,在1718m处见块状铅锌矿体,矿体厚度大于2m,铅品位为46.62%,锌品位为2.96%,银品位为 736×10^{-6} ,矿石以铅银矿为主。

2.3 TEM、P在云南勐兴铅锌矿深部找矿中的应用

云南勐兴铅锌矿经大规模开采后,由于矿石品位低、埋深大、上覆低阻层覆盖等不利因素,其它方

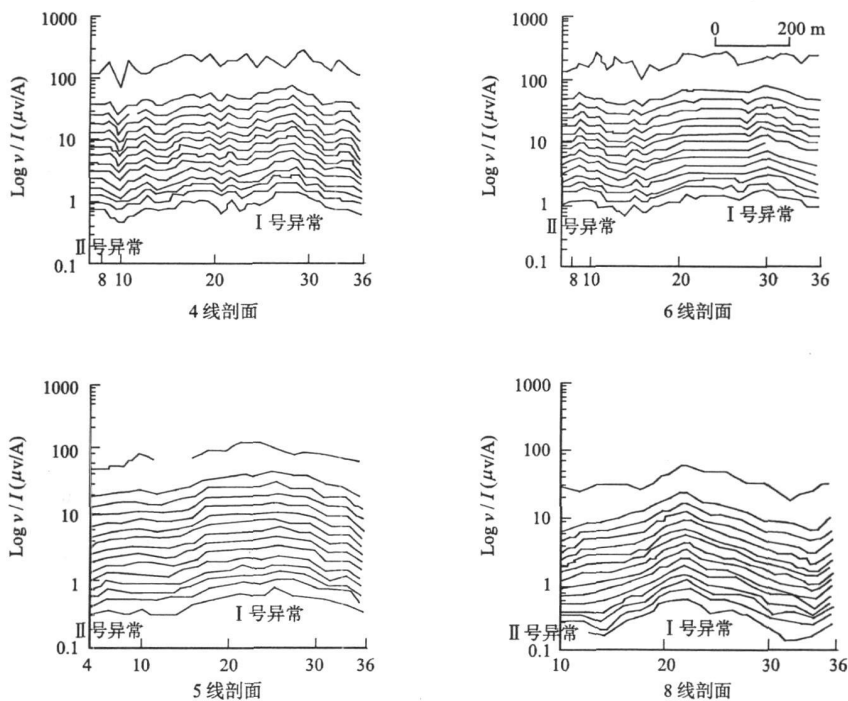


图 1 银厂坡银铅锌矿床宏发硐矿段 4 线、5 线、6 线、8 线剖面瞬变电磁 (TEM) 测量结果图

Fig 1 Line 4, 5, 6 and 8 profiles of TEM measurements of Hongfandong Ore Ag-Pb-Zn deposits of Yinchangpo

法难以奏效, 矿山面临资源枯竭。

该区硫化铅锌矿与围岩具有明显的电性差异, 加上条带状、块状、脉状矿石构造, 使硫化物连通, 形成良好的低电阻层, 具备使用 TEM、IP 方法找矿的物性前提。只要有硫化矿体局部富集, 就会引起 TEM 及 IP 异常。先布置 TEM 剖面 (如下页图 2), 在 TEM 异常地段开展 IP 方法测量, 反复印证。在得到多个物探组合异常后, 设计验证钻孔二十八个, 十三个见矿, 钻孔揭露到 16.63 m 全区最厚的铅锌矿体, 获得相当于原保有储量三倍的新储量, 实现了找矿效果重大突破。

2.4 磁法、重力、电法及化探多方法综合在保山金厂河铜铁多金属矿勘查中的应用

综合分析区域地质、磁法、化探、重力资料及其相邻矿区岩矿石物性特征基础上, 提出金厂河磁异常具有寻找大型多金属硫化物矿床的前景。

在 1:10 000 地质填图查清区内地层、构造与区域矿床关系的基础上, 1:10 000 磁法及大功率激电中梯、偶极测深、对称四级测深, 进一步确定了电磁异常体规模、空间形态及分布特征, 以次生晕、原生晕测量确定磁性体的含矿性。通过对多种方法测量结果的综合分析, 圈定成矿有利区段约 3 km^2 。推测电磁性异常体为顶部埋深 250 m ~ 270 m, 厚 130 m, 走向长 650 m, 倾向延深约 800 m

的多金属硫化物地质体。经三个钻孔验证, 均见到厚大铜铁矿体, 实现了隐伏矿床找矿的重大突破。

3 用于金属矿勘查的物探新方法、新技术

3.1 高温超导磁强计 ~ 瞬变电磁测量技术

物化探所在瞬变电磁测量技术研究中, 引入了高温超导技术, 使高温超导技术在地球物理的应用研究方面取得重大进展。近年来, 不仅实现了单分量高温超导磁强计的实用化, 还成功研制出既能手动, 又能全自动控制的高温超导三分量磁强计。此外还研发出与之配套, 基于感应磁场信号的数据处理和定量正演、反演技术, 为高温超导磁强计在瞬变电磁法中的实际应用, 奠定了坚实基础。它取代传统感应线圈作为电磁法的接收传感器, 大大提高了勘探深度, 为危机矿山、深部隐伏大矿的寻找, 以及矿体准确定位, 提供了新的高技术手段。

3.2 地下物探技术

物化探所成功研制了我国第一台井中高精度质子磁力仪样机, 精度优于 $\pm 5 \text{ nT}$, 为在我国中 ~ 弱磁性矿区开展井中磁测提供了可用的设备。

物化探所研制了大功率 (100 W) 无线电波法地面发射机, 为地 ~ 井方式无线电波透视法提供了

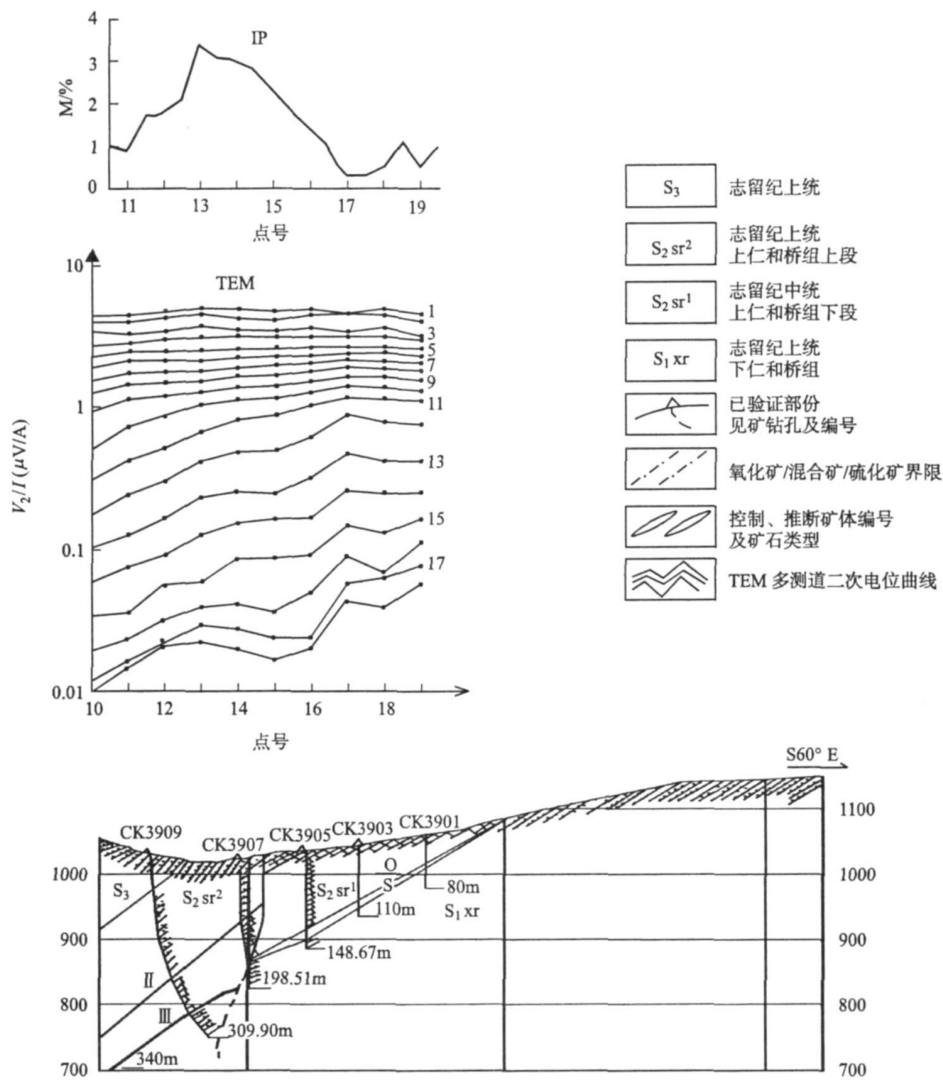


图 2 勐兴铅锌矿区 39 线综合地质、物探 TEM 剖面图

Fig 2 Geological and geophysical TEM comprehensive section of line 39 in Mengxing Pb-Zn Ore field

可用设备;研发了地~井 TEM 三维正、反演方法并编制相应软件;开发了地~井三分量 TEM 异常矢量交会计算、图示程序;开发了井~地电阻率、激电相位三维人机交互反演软件。在青海昆仑山肯德可克金矿区,依据地~井 IP、地~井 TEM 和井~地充电法,发现了孔旁和孔底异常,同时还分别发现了孔旁与孔底下方的盲主矿体;在督冷沟钼矿和锡铁山铅锌矿区,发现了有找矿价值的异常;在新疆小热泉子铜矿区,依据地~井 TEM 发现的孔旁异常,找到了盲矿体;在维权铜矿区,地~井和井~井电磁波透视法的层析成像结果,清晰地反映了矿层的形态和延展情况。

3.3 金属矿二维地震找矿方法技术

徐明才、刘学伟等人开展了散射波地震勘探技术基础理论和勘探技术研究,取得新进展。云南个旧金属矿地震试验结果表明,采用散射法比反射法

能获得更加清晰的花岗岩界面成像。在新疆小热泉子铜矿床、内蒙古拜仁达坝银铅锌多金属矿、甘肃金昌镍铜多金属矿的勘探中,应用散射波地震勘探方法,均取得了较好的找矿效果。

3.4 大深度高分辨电磁探测技术与多功能电法仪

物化探所攻克了多频等幅同步供电,密集频点供电,大功率励磁稳流供电,以及高精度混合同步等关键技术,形成我国具有自主知识产权的大功率、多功能电磁法勘查系统。供电电流是国外同类仪器 2 倍~3 倍,有效勘探深度由 500 m 提高到 1 000 m。该系统具备天然源场的音频大地电磁测量,人工源场的激电测量,以及可控源音频大地电磁测深功能,并且具有进一步扩展潜力,能够同时获得电阻率和极化率。与国外同类仪器相比,有较多优越性,为我国深部找矿工作提供了新的有效技术装备。

4 小结

解决深部金属矿找矿问题,突破的关键在于新技术、新方法的发展与运用。当前就方法应用而言,常用的物探方法有相位激电法或双频激电法、TEM、CSAMT、大功率深部充电法、地球物理层析成像技术等。每种方法都有自身的适用性,对不同的矿种,不同的地球物理前提,不同的勘查阶段都有其一定的适用范围,要综合分析,选择合理的方法或方法组合。相信在深部金属矿勘查与定位、中大比例尺三维地质填图等方面,物探技术会有大的发展空间。

同时,为更好地发挥物探技术的优势,还要注重以下几点:

(1)开展自主创新。大力研发适合我国地质条件探测深度大,分辨率高,抗干扰能力强的物探技术和仪器,急待研发探测深度达到—1 000 m 以下的物探设备。

(2)注重方法优化组合。不同方法各有所长,在充分考虑地球物理前提的情况下,进行技术方法试验,选取最佳方法组合。多种方法和技术的综合应用及互相佐证,可减少物探多解性,从不同侧面最大限度揭示地下找矿信息。

(3)加强综合研究。深部找矿是一项高科技含量,高风险的系统工程,在注重深部找矿物探技术创新的同时,还要注重多学科资料的综合研究,合理利用各种参数。

(4)推断结果验证。物探勘查提供的仅是一种间接找矿信息,只有靠大密度的深部钻探工作,才能验证物探推断结果的正确性,达到找矿的目的。

本文得到曹洛华教授级高工的悉心指导与帮助,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 郭玉福,姜丽英,华伟,等. IP法找矿的几个实例[J]. 吉林地质, 2005, 24(4): 105.
- [2] 孙亚力,张立明,张洪洲,等. 安徽池州铜山铜矿深部

找矿实践与启示[J]. 云南地质, 2008, 27(1): 40.

- [3] 廖震文. 地物化综合找矿方法的一次成功尝试—贵州银厂坡银铅锌矿床深部矿体综合找矿预测及验证[J]. 地质与勘探, 2006, 42(1): 59.
- [4] 罗鉴凡,廖忠. 瞬变电磁法、时间域激电法在勐兴铅锌矿的应用[J]. 云南地质, 2002, 21(4): 421.
- [5] 符德贵,崔子良,官德任. 保山金厂河铜多金属隐伏矿综合找矿[J]. 云南地质, 2004, 23(2): 188.
- [6] 刘国栋. 矿产资源调查的物探方法和仪器设备[J]. 物探与化探, 2007, 31(增刊): 35.
- [7] 周圣华,鄢云飞,李艳军. 矿产勘查中物化探技术应用与地质效果[J]. 地质与勘探, 2007, 43(6): 59.
- [8] 周平,施俊法. 瞬变电磁(TEM)新进展及其在寻找深部隐伏矿中的应用[J]. 地质与勘探, 2007, 43(6): 63.
- [9] 李本茂,张学良,史家良,等. 云南茶树林铅锌矿电磁波找矿效果[J]. 云南地质, 2007, 26(2): 257.
- [10] 李水平,张同中,景金明. TerraTEM瞬变电磁系统在隐伏铁矿体上的勘查应用[J]. 物探与化探, 2009, 33(4): 424.
- [11] 刘爱平,楚福录,郭秀芬,等. 激发极化法在冀北某铜钼矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2008, 32(4): 363.
- [12] 高延光. 危机矿山接替资源勘查中方法技术战略思考[J]. 中国矿业, 2006, 15(10): 16.
- [13] 蔡新平,刘秉光,季钟霖. 金厂峪金矿的控矿构造与其地球物理验证[J]. 黄金科学技术, 1994, 2(5): 1.
- [14] 张慧,谢玲琳,吴湘滨. 大功率激发极化和音频大地电磁联合方法在额尔古纳成矿带寻找隐伏矿的应用研究[J]. 地质与勘探, 2008, 44(5): 76.
- [15] 王庆乙,李学圣,徐立忠. 高精度井中三分量磁测是矿山深部找矿的有效手段[J]. 物探与化探, 2009, 33(3): 235.
- [16] 柳建新,胡厚继,刘春明,等. 综合物探方法在深部接替资源勘探中的应用[J]. 地质与勘探, 2006, 42(4): 71.
- [17] 于爱军,黄辉,徐德利,等. 综合电法在新疆哈西金矿区寻找隐伏矿的应用[J]. 地质与勘探, 2006, 42(6): 57.

作者简介:袁桂琴(1964—),女,教授级高工,主要从事物化探战略研究工作。

in safety way going through larger obstacles is proposed which successfully solve the problems by reasonable configuration and adjustment of shot-points and receiver-points and ensure the high signal to noise ratio of seismic data

Key words 3-D observation system; large obstacle dynamic design

HIGH ORDER FINITE DIFFERENCE NUMERICAL SIMULATION OF ELASTIC WAVE WITH SEPARATED P WAVES AND S WAVES

ZHAO Mao-qiang^{1,2}, WU Guo-chen¹ (1. College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China; 2. Shengli Geophysical Research Institute of SINOPEC, Dongying 257022, China). COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION, 2010, 32(5): 0487

In the VSP wave field information from general elastic wave numerical simulation method, the P waves and S waves are coupled together and the wave field information is complexity. In order to analysis multi-wave and multi-component seismic wave field, we need to separate the wave field. In this paper, we present high order finite difference numerical simulation method using elastic wave equation with separated P wave and S wave, use the PML boundary conditions to deal with the artificial boundary conditions, and get the VSP records with separated P waves and S waves. It gives fundamental contributions to the further study of elastic wave VSP wave field characteristics.

Key words elastic waves; high-order finite difference; separation of P wave and S wave; PML

GEOPHYSICAL TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATION EFFECTS FOR EXPLORATION OF DEEP METALLIC MINERAL

YUAN Gui-qin, LI Fei, ZHENG Hong-shan, et al (Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China). COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION, 2010, 32(5): 0495

With the rapid development of China's national economy, mineral resources needs and the ability of protecting became increasingly prominent. Mineral resources exploration has become an important task of geological work. With the increase in depth prospecting, the difficulties of finding the mineral resources is increased, which provide a space for development for the geophysical methods and techniques. This article lists the effective methods currently and commonly used in geophysical mineral exploration and the new

methods and new technologies researched and developed in recent years, which is hoped to fully use the advantages of geophysical techniques in deep metallic ore exploration, to maximized access in the information of various kinds of metal ores, instructions underground, and to provide the basis for prospecting work.

Key words exploration of deep metallic ores; geophysical methods and techniques; application effect

STUDY ON NUMERICAL CALCULATION METHODS OF TRANSIENT ELECTROMAGNETIC ALL-TIME APPARENT RESISTIVITY

GUO Song-wei, WANG Xu-ben (College of information engineer, Chengdu University of technology, Chengdu 610059, China). COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION, 2010, 32(5): 0500

In this paper, the definition of all-time apparent resistivity is introduced for central-loop transient electromagnetic method in homogeneous half-space. Three numerical calculation methods have been studied. Especially by using time segmentation calculation, the non-uniqueness of all-time apparent resistivity solution has been solved, and the method of binary-search is also introduced to solve the inverse function of implicit function. A comparison and analysis has been carried out for the three numerical calculation methods through forward modeling and smoke loop inversion, and it would play an important role in revealing the vertical variations of rock electrical layer of the qualitative interpretation of transient electromagnetic data.

Key words transient electromagnetic method; all-time apparent resistivity; binary-search; smoke loop inversion

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM IN RAYLEIGH WAVE EXPLORATION

JIANG Chan-jun¹, ZHOU Zhu-sheng², JING Rong-zhong¹, et al (1. Guilin research institute of geology for mineral Resources, Guilin 541004, China; 2. School of info-physics and Geomatics Engineering in Central South University, Changsha 410083, China). COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION, 2010, 32(5): 0508

It is still a big problem in Rayleigh wave exploration to get underground medium parameters by inverting dispersion curve. Genetic Algorithm is global optimization algorithm. This method does not lay on the initial model and does not require partial derivatives. After studying models, the paper concludes Genetic